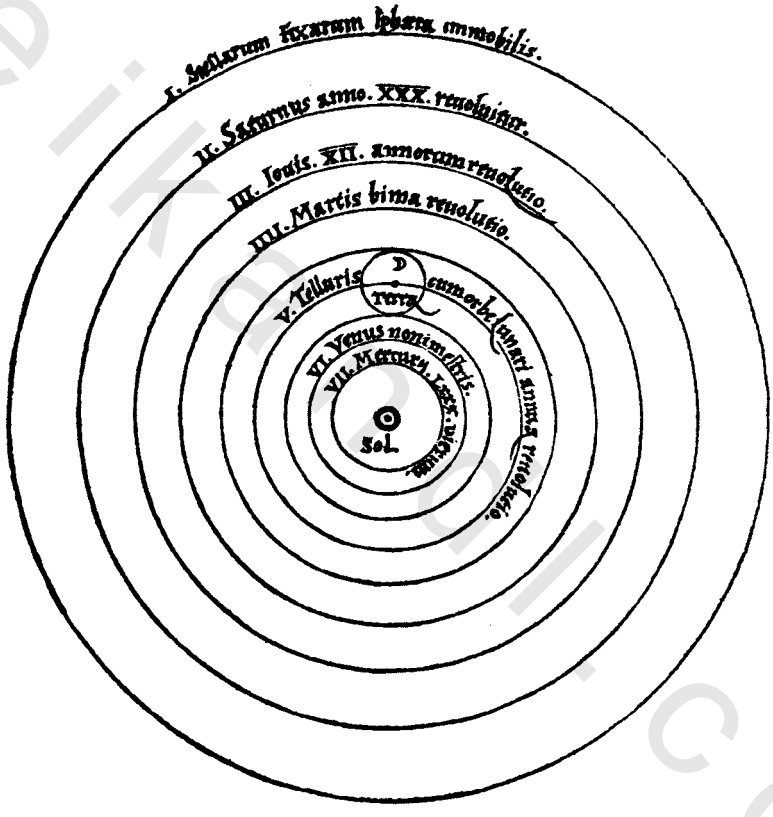
* القسم الأول

obeikandl.com



النموذج الشمسي المركز للكون. من كتاب كوبرنيك «في دوران الأجرام السماوية»، سنة **1543**.
المصدر: مكتبة وولباخ، جامعة هارفرد.

obeikandl.com

1

إعادة اكتشاف الكون

إن مشهد النجوم يجعلني دوماً أرى أشياء، تماماً مثلما تجعلني النقاط السوداء الموجودة على خارطة أرى مدناً وقرى. وإنه لمن العجب أن تكون هذه النقاط الضوئية المنتشرة على البقعة السماوية أكثر استعصاء على الفهم من تلك النقاط المظلمة الموجودة على خريطة فرنسا.

ـ فنسنت فان كوخ، من The Letters of Vincent Van Gogh

كانت السماء، وما زالت، هناك في الأعلى، موشاة بالنجوم، وقد اعتدنا الاستلقاء على ظهورنا والتحديق فيها، والتفكير فيما إذا كانت هذه النجوم قد صُنِعَتْ، أم أنها مجرد حادثة جرت.

ـ مارك توين Huckleberry Finn

★ ★ ★

أخيراً، أصبحت الأرض حرة، بعد أن انفصلت عن محطتها المركزية غير المتحركة في الكون، وأبحرت بجلال حول الشمس، وانضمت إلى إخوانها من الكواكب وقمرها الرفيق في حركة دائمة. هذا ينسجم مع رأي الفيلسوف الرياضي اليوناني أرستارخوس من ساموس Aristarchus of Samos، الذي قدم اقتراحاً جريئاً لإعادة ترتيب السماوات ـ إذ جعل الشمس تقع في

مركز العالم بدلاً من الأرض ـ منذ أكثر من ألفي سنة. ورغم كل المعتقدات السائدة آنذاك، فقد ذهب إلى أن الشمس ـ وهي المصباح الذي يضيء السماوات ـ تتربع على عرش الكون، وترسل أشعتها بالتساوي إلى زمرة الكواكب. وقد بينت حسابات أرستارخوس أن حجم الأرض لا يمثل سوى جزء صغير من حجم الشمس، وأن المنطق يقضي أن تدور الأرض حول الجرم الشمسي الذي يكبرها. وقد أكّد أرستارخوس أيضاً أن كوكبنا الأرضي يتم دورته الكاملة حول الشمس مرة كل سنة، ثم يعيد سلوك نفس مساره مرة بعد أخرى، إلى ما شاء الله. وقد رأى أن الكواكب الأخرى ـ عطارد، والزهرة، والمريخ، والمشتري، وزحل ـ تدور أيضاً حول الشمس؛ ولهذه المشاعل الضوئية السماوية، أفلاكها الخاصة في الستارة الخلفية لمسرح السماء الليلية.

تصوّر نفسك منتعلاً خُفَّي أرستارخوس. السنة هي 270 قبل الميلاد، والمكان هو مدينة الإسكندرية الواقعة قريباً من مصب نهر النيل في الشمال المصري. هذه المدينة، التي أسسها الإسكندر الكبير في أحد فتوحاته سنة 330 قبل الميلاد تقريباً، كبرت ونمت لتصبح المركز الفكري والتجاري للعالم الهلّيني، المكوّن من مجموعة ضخمة من الأبنية، والتماثيل، والطرق الواسعة، والنضالات البشرية. وعلى طول الطريق العريض الذي تحيط به الأشجار، الممتد بين بوابة الشمس وبوابة القمر، كانت عظمة المدنيّة الإسكندرانية تقدم نفسها بمواكب إغريقية جليلة، يضم أحدها قضباناً ذهبية طول كل منها مئة وثمانون قدماً، وألفي ثور بقرون ذهبية، وتمثالاً ذهبياً للإسكندرية محمولاً على فيلة، وتمثالاً لديونيسوس، إلّه الخمر عند الإغريق، يبلغ ارتفاعه ثمانية عشر متراً، يرتدي معطفاً فضفاضاً أرجواني اللون، ويضع على رأسه تاجاً من أغصان الكرمة واللبلاب.

هنا، في الإسكندرية، بعد موت الملك المقدوني الشاب، أسس كبير رجال اللاهوت في بلاطه، بطليموس الأول السوتري، معبداً للإلاهات

اللواتي يحمين الغناء والشعر والفنون والعلوم ـ أي «المتحف» Museum ـ والمكتبة التي كانت تحوي 500،000 وثيقة ولفيفة من ورق البردي. (وللمقارنة، فإن أكبر مكتبة أوروبية في القرون الوسطى، وهي السوربون، كانت تحوي بحلول القرن الرابع عشر بعد الميلاد أقل من ألفي مجلد.) وفي وقت لاحق، كان بطليموس الثالث جامعاً أكثر حماساً للكتب. فقد أصدر قراراً يقضي بأن يتنازل كل مسافر يصل الإسكندرية عن كل وثيقة ذات قيمة علمية أو أدبية، لتضاف إلى مجموعة المكتبة. ومقابل ذلك، كان المسافرون يُمنحون نسخاً ممّا تنازلوا عنه، مخطوطة على ورق البردي الرخيص الثمن. وفي إحدى المرات، دفع بطليموس تأميناً ضخماً ليستعير «نسخ الدولة» ـ التي خططها أخيلوس، وسوفوكليس، ويوريبيدس ـ من مكتبة أثينا لينسخها، ولكن النسخ الأصلية لم تُعَدْ قط إلى أثينا.

وما الإسكندرية إلاّ قرون من الحكمة تجمّعت في مكان واحد، ومغنطيس جذب إليه أكبر العقول في العالم. وإضافة إلى مكتبتها الفنية، فإن متحف الإسكندرية كان يضم بين جنباته غرفاً للبحوث، ومرصداً، وحديقة للحيوانات تضم أنواعاً حيوانية غريبة، وأحياءً سكنية، وقاعة للطعام يجتمع فيها العلماء للأكل والمناقشة. كانت الإسكندرية معقلاً للمفكرين الذين وهبوا أنفسهم للفنون والعلوم، ومعهداً للدراسات المتقدمة؛ وقد غدا نشاطها العلمي الجماعي تراثاً للأجيال القادمة. وكان أفول نجمها في نهاية الأمر، إثر خضوعها للسلطة المسيحية في القرن الرابع بعد الميلاد، ثم تدميرها سنة 642 بعد الميلاد نتيجة الفتوحات الإسلامية، من أفدح الخسائر التي مُنِيَتْ بها الحضارة العالمية. وفي هذا الخضم الهائل من الأفكار، قدم أرستارخوس نظريته العبقرية في الكون.

وبوضعه تصميماً لنظام منطقي كامل فسّر حركات الأجرام السماوية، وتعاقُبَ الليل والنهار، وحدوثَ الخسوف والكسوف، واختلافَ أطوال الفصول، وأوجهَ القمر، ومجموعةً من الظواهر السماوية الأخرى، فقد قدم

تحدياً للقدماء، الذين كانت إمكاناتهم الرصدية محدودة جداً. فلم يكن لديهم سوى أعينهم وعقولهم، وكانت هذه العقول مليئة بمفاهيم قديمة عمّا يجب أن يكون عليه العالم.

وقد وصف العالمان الفيزيائيان ألبرت آينشتاين Albert Einstein، وليوبولد إنفيلد Leopold Infeld، ما كان يرفضه هؤلاء العلماء بالكلمات التالية:

> في مجرى محاولتنا لفهم الحقيقة، نشبه، إلى حد ما، رجلاً يحاول فهم آلية ساعة يد مغلقة. إنه يرى وجه الساعة وعقربيها المتحركين، بل إنه يسمع دقّاتها، لكنه لا يجد طريقة لفتح محفظتها. ولو كان بارعاً، لتمكّن من تكوين صورة لآلية قد تكون مسؤولة عن كل ما يلاحظه، لكنه لن يكون أبداً متوثقاً من أن صورته هي الوحيدة القادرة على تفسير ملاحظاته.

طوال القرون الثلاثة التي سبقت أرستارخوس، كان كل فيلسوف يوناني تقريباً، من فيثاغورس إلى أرسطوطاليس، ملتزماً الاعتقاد بأن الأرض تشغل مركز الكون، وأن الشمس والقمر والكواكب، وحتى الكرة السماوية المرصعة بالنجوم التي كان يظن أنها تغلف الكون، تدور كلها حول الأرض. وقد حظيَ هذا المخطط للكون بإيمان لا يتزعزع، ووجد طريقة إلى كنه الاعتقادات التي ترسخت لدى أجيال من المفكرين الأصليين. ولهؤلاء العلماء القدماء، كانت حقيقة الكون، الذي تتربع الأرض على مركزه، أمراً واضحاً، تماماً مثلما كانت حقيقة الكون الذي تقبع الشمس في مركزه أمراً واضحاً لأرستارخوس.

وتجدر الإشارة إلى أن بذرة النظام الأرضي المركز geocentric للكون كانت موجودة، سنة 600 قبل الميلاد تقريباً، في أفكار تالس من ميليتس Thales of Miletus في آسيا الصغرى. كان تالس، وهو تاجر جمع ثروته من زيت الزيتون، يسافر كثيراً، ويبحث في الظواهر الطبيعية، ويجري بعض التجارب. وكما يخبرنا أفلاطون، فإن تالس أصبح في وقت من الأوقات

مشدوهاً بمنظر النجوم، حتى أنه سقط في بئر خلال تجواله ليلاً وهو يحدق فيها. وكان أحد إسهاماته الرائعة قياس ارتفاع هرم مصر الكبير انطلاقاً من طول ظله. ويعزو هيرودوتس Herodotus إلى تالس أيضاً أنه تنبأ بالكسوف الشمسي سنة 585 قبل الميلاد، الذي حدث خلال معركة جرت بين الميديين Medes والليديين Lydians قرب نهر الهاليز Halys وقد ذُهِلَ المتحاربون عندما رأوا النهار يتحول إلى ليل، وهذا جعلهم يعقدون هدنة فورية.

لقد حدث الكسوف، لكن قصة التنبؤ به مشكوك فيها ؛ ومن المحتمل ألاّ يكون أحد، قبل سنة 600 قبل الميلاد، قادراً على التنبؤ بحدوث كسوف شمسي.

وفي ميدان الكوسمولوجيا (علم الكون)، يبدو أن تالس استفاد من سقوطه في البئر. فقد ذهب إلى أن العالم بُنِيَ حول أرض شبيهة بقرص، وأن هذه الأرض كانت تطفو بهدوء في محيط كوني. وللنظريات الحديثة، فإن فكرة أرض محمولة على ماءٍ قد تبدو غريبة، لكنها تمثل نقطة انعطاف في التفكير الكوسمولوجي. ففي النماذج الكوسمولوجية السابقة، لم يحدث شيء دون تدخل أيادٍ مقدسة. وقد اعتقد تالس بأن أرضه الطافية تكونت بطريقة طبيعية، شبيهة بالطريقة التي تكونت بها الأشياء التي رآها في الشق الطولي الذي لاحظه في دلتا النيل. وربما تكون الآلهة هي التي استهلّت تكوين الأرض، لكنْ ما أن سارت العملية، تركوها وشأنها لتستمر دون تدخل منهم.

لكن أنكسيماندر Anaximander، من ميليتس أيضاً، قام بتعديل النموذج الذي اقترحه تالس. فقد استغنى عن المحيط الكوني كله، وافترض أن القرص الأرضي كان يطفو بحرية في الفضاء، وكانت هذه فكرة ثورية في ذلك الزمان. وفي سنة 350 قبل الميلاد، بدأ فيثاغورس من ساموس، الذي يرتبط اسمه بالمبرهنة الشهيرة التي تربط بين أطوال أضلاع المثلث القائم الزاوية، بتنقيح النموذج الأرضي المركز، الذي كان بحاجة إلى صقل

وتهذيب. فقد افترض أن الأرض ليست قرصاً، وإنما كرة مستقرة، محاطة بسلسلة من ثماني كرات شفافة لها مركز واحد، وأن الشمس والقمر والكواكب والنجوم مثبتة على هذه الكرات. ويؤدي الدوران المستقر لهذه الكرات إلى حدوث الحركات المرصودة للأجرام السماوية، ومن ضمنها شروقها وغروبها اليوميين. (هذا وإن أرسطوطاليس، الذي كان يحظى بسلطة علمية وفلسفية قديماً، والذي ساعد على ترسيخ النظام الأرضي المركز، دعم فرضية الأرض الكروية في رسالته بعنوان «في السماوات» On the Heavens، التي خطّها سنة 350 قبل الميلاد تقريباً. وكان دليله على أن الأرض كروية هو: تقوس ظل الأرض خلال خسوف القمر، والمجموعة المتغيرة من الأبراج النجومية عندما يسافر شخص إلى الشمال أو الجنوب، واختفاء صواري السفن المبحرة عبر الأفق. ومع ذلك، فثمة من يؤمن بانبساط الأرض حتى يومنا هذا).

وقد تبيّن أن الحركات الكوكبية أكثر تعقيداً من الحركات الثابتة للنجوم، والتي يمكن التنبؤ بها. فالكواكب تزيد وتخفض سرعتها خلال طوافها في السماء، وفي بعض الحالات تقوم بحركات إلى الخلف ثم إن سطوعها brightness يتغيّر خلال السنة، وهذا يعني أن المسافات التي تفصلها عن الأرض تتغير. ولم يكن من السهل تفسير التغيرات في حركات الكواكب ولا في سطوعها إذا نحن اعتمدنا النظام الأرضي المركز للكون، الذي يفترض أن يقوم كل كوكب بالدوران حول الأرض على مسافة ثابتة منها.

إن الانحرافات بين المواقع المرصودة والمتوقعة للكواكب، هددت بإلغاء المخطط الكوني البسيط نسبياً الذي صممه فيثاغورس وأتباعه. وفي هذا الصدد يقول مؤرخ العلوم أكنس كلارك Agnes Clerke: «الرصد هو نقد لا يرحم للنظرية، فهو يكشف نقاطها الضعيفة، ويحثّ على القيام بإصلاحات فيها قد تكون بدايات لاكتشاف شيء جديد. وهكذا فإن النظرية والرصد يتبادلان الفعل ورد الفعل بينهما، ويتناوبان شغل المركز الطليعي في السباق الأزلي نحو التحسينات». وكي يصمد النظام الأرضي المركز أمام

البيانات (المعطيات) data الكوكبية، تعيّن عليه أن يصبح أكثر تعقيداً.

سنة 370 قبل الميلاد تقريباً، قام يودكسس من سيندوس Eudoxus of Cindus في آسيا الصغرى، وهو تلميذ سابق لأفلاطون، ومن معارف أرسطوطاليس، بزيادة عدد الكرات السماوية من ثمانٍ إلى سبعٍ وعشرين. عند ذلك أصبح لكل جرم سماوي أكثر من كرة تحكم حركته. وقد أحال يودكسس بذكاء الكرات بزوايا مختلفة، وشابك بين دوراناتها، بغية إيجاد انسجام بين تنبؤات نموذجه الأرضي المركز الجديد وبين الأرصاد. وقد جرى بذلك تحويل الكون إلى آلة كونية، شبيهة بميقاتية ابتكرها ذهن عالم رياضيات ينتمي إلى القديسين.

لم يؤمن الفلكيون اليونانيون القدماء إيماناً يقينياً بحقيقة الكرات السماوية. فقد نظروا إليها على أنها بنى هندسية مساعدة، كوّنت بمجموعها حاسوباً computer نظرياً يحاكي السماوات الحقيقية. ثم إنه كان من السهل، إذا اقتضت الحاجة، إضافة مزيد من الكرات إلى هذا النموذج بغية التوصل إلى انسجام مع الحركات المرصودة للكواكب. وقد زاد أرسطوطاليس نفسه من عدد الكرات السماوية إلى أن بلغت خمساً وخمسين.

حين اكتسح الإسكندر الكبير بلاد فارس سنة 330 قبل الميلاد تقريباً، استولى اليونانيون على السجلات البابلية الفلكية الضخمة. وقد فرضت هذه الكاتالوكات المفصّلة للمواقع الكوكبية ولحوادث الخسوف والكسوف متطلبات أشد صرامة من هؤلاء المنهمكين بالكرات السماوية. وكانت النتيجة إضافة سمات جديدة إلى النموذج الهندسي. وأحد التعديلات التي أُجريت عليه، هو إزاحة الأرض قليلاً عن مركز الكون، في حين بقيت الكواكب الأخرى مستمرة في الدوران حول المركز الملغى. وفي تعديل آخر، افتُرض أن كل كوكب يدور حول مدار صغير يسمى دُحروجاً epicycle، وأن هذا الدحروج نفسه يدور حول الأرض وفق مدار أوسع يسمّى ناقلاً deferent. هذا وقد جرى تعديل الحجوم والسرعات النسبية لجميع مركبات الحركات

هذه إلى ان أصبح النموذج يحاكي تماماً ما نراه في السماء. وفي نهاية المطاف، أدى إدخال مثل هذه السمات إلى تخفيض عدد الكرات الكونية إلى قدر معقول.

وعلاوة على الاستعمال الناجح للنظام الأرضي المركز للكون في نمذجة الحركات الكوكبية، فقد كان ثمة أسباب وجيهة علمية، وعاطفية، ودينية لدعم مثل هذا النظام. فقد كانت سماته الجمالية باعثة على السرور، ثم إنه كان منسجماً مع فكرة أرسطوطاليس المقبولة عالمياً، القائلة بأن المادة الكثيفة تتجه نحو مركز الكون (أي نحو الأرض)، في حين تبقى المادة السريعة الزوال للأجرام السماوية في الأعالي؛ وكانت هذه الفكرة تعبر عن الإرادة الواضحة للخالق لبناء كون يشغل مركزه الإنسان.

هذا ولا يجب في هذا السياق إهمال دور الطبيعة البشرية. لنفترض أنك قضيت أعواماً في تصميم بيتك وبنائه. فإذا كان شكله قريباً من نمط بيتي، فإن بعض النوافذ لن تكون متطابقة، ولن تكون كل الأبواب قابلة للإغلاق بإحكام، ثم إن من الضروري إجراء ترميمات عليه بين الفينة والأخرى. ومع ذلك فإنه يحقق أساساً ما يُفترض أن يكون عليه البيت ؛ فهو يقيك من سقوط المطر على رأسك، ومن قشعريرة فصل الشتاء البارد. وقد يأتي صديق لك ويقول، بعد أن يلقي نظرة على بيتك، إن كل ما فيه خطأ، وأن عليك تفكيكه، وإعادة ترتيب إجزائه، وبناءه من جديد ! قد لا يكون البيت الجديد أكبر من سابقه، وقد لا يبدو أحسن من الأول، لكنه مختلف تماماً. تُرى، كيف يكون رد فعلك على هذا؟ كان أنصار النظام الأرضي المركز يسمعون أساساً نفس النقد من أرستارخوس حول صرح النظام الأرضي المركز الذي جهدوا في تصميمه.

وليس من المفاجئ أن يكون أرستارخوس ارتد أكثر من مرة في حياته عن معسكر أنصار النظام الأرضي المركز. في ذلك الوقت، لم يتصدّ أحد للتشكيك في سلامة جوهر هذا النموذج، اللهم باستثناء أرستارخوس. لقد

كان أرستارخوس مولعاً بالعالم الذي تقع الشمس في مركزه، وكان من السهل على معارضيه انتقاده، أو تجاهله على الأقل.

وبمعتقدات اليونان القدماء، كانت الأرض جزيرة مؤقتة للحياة والموت، للنشوء والزوال، وكانت أبعد ما يكون عن الكمال التام الذي يميز عالم السماوات الكائن فوق رؤوسنا. وكان من المتعذر عليهم فهمه، أن يتمكن جسم قاعدي مثل الأرض من الدوران بين الكرات الكونية العالية، كما كان يعتقد أرستارخوس. وكإثباتٍ لما كان يؤمن به مؤيدو النظام الأرضي المركز، أشاروا إلى أنه في أي لحظة معطاة، يكون نصف الكرة السماوية بالضبط مرئياً من قبل الراصدين الموجودين على الأرض، بقطع النظر عن المكان الذي يعيشون فيه. ولو كان موقع الأرض غير موجود في مركز الكون، لاستطاع الراصدون الذين يقيمون في جانب من الأرض رؤية قسمٍ من الكون أصغر مما يشاهده أولئك الذين يعيشون في الجانب الآخر.

كان ثمة وجه آخر لنظرية أرستارخوس أزعج معاصريه بقدر أكبر: فقد جعل أرستارخوس الأرض تدور. لكنّ مؤيدي النظام الأرضي المركز كانوا تعلموا أن الأرض ساكنة، وأن الشروق والغروب المرصودين للنجوم ناجمان عن الدوران المستمر للكرة السماوية. لكن هذه الكرة تقف دون حراك في عالم أرستارخوس، ثم إن حركة النجوم الليلية من أفق إلى آخر ليست سوى وهم. فعندما تدور الأرض باتجاه الشرق، فإنها تُظْهِرُ النجوم الموجودة فوق حافتها الخارجية الشرقية، في حين تخفي النجوم الأخرى الواقعة خلف حافتها الخارجية الغربية. ومثلما يفعل راقص يدور حول موقدٍ للنار، فإن كوكبنا يدور حول الشمس، ويدوّم (أي يدور حول نفسه) طوال الوقت ـ وهذا التدويم spinning، الذي يكتمل كل أربع وعشرين ساعة، هو الذي يُحْدِثُ التعاقب السرمدي لليل والنهار، كما يُحْدِثُ الشروق والغروب الظاهرين للنجوم. (وفي الحقيقة، فقد سبق أرستارخوسَ شخصٌ آخر في هذا الاقتراح، وهو هيراقليدس من بونتس Heraclides of Ponuts، وهو

معاصر لأرسطوطاليس، افترض في القرن الرابع قبل الميلاد أن الأرض تدور، لكنها موجودة في مركز الكون).

كان مفهوم الأرض الدوّارة منافياً للعقل عند مؤيدي النظام الأرضي المركز، الذين كانوا يؤمنون بالظواهر المحسوسة. فكانوا يقولون: يكفي لتصديق نظامنا أن تقف خارجاً ليلاً، وتنظر إلى ترحال النجوم البطيء عبر السماء؛ ثم إنه لا يوجد إطلاقاً إحساس بالحركة تحت قدميك. لماذا ننكر موثوقية الإحساسات الشخصية؟ من الواضح أن الكرة السماوية هي التي تتحرك، وليس الأرض. إن كون كرة النجوم في حالة دوران أمر لم يزعج، على الأقل، أنصار النظام الأرضي المركز ؛ فعالم السماوات لم يكن معرضاً لنفس الأنواع من التقييدات الفيزيائية التي كانت الأرض معرضة لها. إضافة إلى ذلك، كان لدى مؤيدي النظام الأرضي المركز، بحلول القرن الثالث قبل الميلاد، فكرة غير دقيقة عن حجم الأرض. كانوا يقولون إنه لو كان سطح كوكبنا يكمّل حقاً دورة كاملة حول نفسه في يوم واحد، فلا بد عندئذٍ أن تندفع القارّات حول محور الأرض بسرعة كبيرة تصل مئات الأميال في الساعة. وعندئذٍ ستقوم قوة العواصف الهوجاء، على الدوام، بحتّ القشرة الأرضية، وستغمر المحيطات المدن في الأراضي المنخفضة. وأي شيء ـ أو أي شخص ـ غير مثبت بإحكام بالأرض، لا بد أن يُقذف بعيداً نحو السماء. فكيف يمكن لأرستارخوس تفسير غياب مثل هذه الآثار الكارثية؟

لنأخذ مثالاً أكثر واقعية. إذا قذف أحدٌ حجراً نحو الأعلى، فترى أنه سيعود قطعاً إلى يدي من قذف الحجر. فلو كانت الأرض تدور، كما يقول مؤيدو النظام الأرضي المركز، لسقط الحجر وراء النقطة التي قذف منها، ولتقدم الشخص الذي قذف الحجر إلى الأمام مع الأرض المتحركة. لم يكن القدماء يدركون مفهوم العطالة (القصور الذاتي) inertia، إذ كان لابد من مرور عدة قرون قبل أن يشرح غاليليو Galileo السبب في أن الحجر الذي يسقط من صاري سفينة متحركة، يصيب سطح السفينة في نقطةٍ تقع تماماً

تحت نقطة بدء السقوط، وليس في نقطةٍ تقع وراءها بعدة أقدام. فالحجر يحافظ على العطالة التي اكتسبها من حركة السفينة في عباب البحر. وهذا الشيء نفسه صحيح في حال حجر قذف نحو الأعلى من الأرض، ولكن دور السفينة المتحركة في هذه الحالة تؤديه الأرض ذاتها. إن الرامي، والحجر، وحتى الهواء المحيط بهما، يتحركون جميعاً بانسجام مع سطح الأرض الذي يدور. ويحتفظ الحجر بهذه السرعة «الجانبية» ـ أي أنه يتحرك مع الرامي المتحرك ـ حتى عند ارتفاعه أو سقوطه في الهواء.

وقد مثلت النجوم نفسها تحدياً خاصاً لنظرية أرستارخوس التي تؤمن بنظام شمسيٍّ المركز، ذلك أن دعاة النظام الأرضي المركز طرحوا اختباراً رصدياً صارماً. فلو كانت الأرض تطوف حقاً في مدار، فلا بد لها من حين لآخر، أن تصبح أقرب إلى نجوم موجودة في جهة معينة من الكرة السماوية. ونتيجة لذلك، يجب أن يتغير سطوع النجوم خلال العام، فتكون أشد لمعاناً حين تكون الأرض أقرب إليها، وأضعف سطوعاً عندما تكون أبعد عنها. وعلى سبيل المثال، فخلال فصل الشتاء (وأكثر تحديداً، فصل الشتاء في نصف الكرة الشمالي)، حين يفترض أن الأرض تقترب من الحشد النجمي المسمّى الكلب الأكبر Canis Major، فإن النجم الشهير، الشعرَى اليمانية Sirus، يجب أن يتلألأ. وبعد شهور من ذلك، حين تكون الأرض قد ابتعدت عن ذلك الجزء من السماء، لا بد أن يخف تلألؤ الشعرى اليمانية. لكن الواقع هو أن الشعرى اليمانية لا تبدي مثل هذا التغيّر السنوي في سطوعها. ويسري هذا على أي نجم آخر موجود في السماوات.

وفي حين كانت النجوم ثابتة السطوع، فإن الكواكب كانت تغير من سطوعها بطريقة دورية. وقد تمكّن أرستارخوس من تفسير سبب هذه الظاهرة بسهولة. ففي كونٍ تقع الشمس في مركزه، فإن المسافات الفاصلة بين كوكب وآخر تتغير طوال الوقت خلال طواف كل كوكب على المدار الخاص به ؛ وعندما يصبح كوكب أقرب إلى موقع الأرض الحالي، يبدو أكثر وضوحاً في السماء. وفي ذلك الوقت، لم يكن النموذج الأرضي المركز

قادراً على تفسير السطوع الكوكبي المتغير، لأن كلاً من كواكبه يحافظ على مسافة ثابتة عن الأرض المركزية الثابتة في موقعها.

ولو كانت الأرض تطوف في مدار، لترتب على ذلك نتيجة رصدية أخرى، ألا وهي اختلاف المنظر Parallax كلمة Parallax مأخوذة من الكلمة اليونانية paralassein التي تعني التغير) واختلاف المنظر هو انزياح ظاهري في موقع جسم عند النظر إليه بالتناوب من نقاط مختلفة. ويكشف اختلافُ المنظر نفسَه في حياتنا اليومية، لأن لكل من عينينا منظورها الخاص للعالم المحيط بها. ويفصل بين عينينا إنشان تقريباً، وهذا كاف لجعل موقع جسم يبدو مختلفاً إلى حد ما من عين إلى أخرى. وخلال قراءتك لكلمات هذه الصفحة، مثلاً، فإن عينيك تتصالبان قليلاً قطعاً، وهذه نتيجة فيزيائية لأثر اختلاف المنظر. وباستثناء الأشياء القريبة جداً، كإصبع يتدلى أمام أنفك مباشرة، فإن تقارب عينيك غير مدرك بالحواس، لكن دماغنا طور القدرة على تفسير درجة تصالب العينيين كمعيار لاختلاف منظر الجسم، ومن ثم للمسافة التي تفصله عنا. وكلما ازداد بعد الجسم، صغر اختلاف منظره.

إن كلمات هذه الصفحة تقنعنا، بدرجة معقولة بتصالب العينين؛ إنها قريبة منا، ومن ثم لها اختلاف منظر كبير نسبياً. أما النبتة الموجودة في الغرفة، فإنها تبدي اختلاف منظر أقل، والشجرة الموجودة في الشارع تبدي اختلاف منظر أقل من النبتة. تُرى، ماذا يمكننا قوله عن نجم؟ هل يمكن لنجم بعيد في أغوار الفضاء أن يبدي اختلاف منظر؟ الجواب يتوقف على من الذي تسأله. فمؤيدو النظام الأرضي المركز يجيبونك أن النجم لا يبدي اختلاف منظر، وأنه بوجود بضعة إنشات فقط تفصل بين عينينا ـ وهما النقطتان المميزتان اللتان نرصد منهما السماوات ـ ترى كلتا العينين النجم في الموقع نفسه.

لكن ماذا لو كانت النقطتان المميزتان بعيدتين كثيراً الواحدة عن الأخرى؟ (قد يبدو وقع هذا الكلام مؤلماً، لكن لا تقلق، فلا يتطلب هذا الافتراض إعادة ترتيب أعضاء وجهك.) لنفترض أنك رأيت النجم من

اليونان، وأن ثمة مواطناً لك يفعل الشيء نفسه من مصر، مثلاً، التي تبعد عدة مئات من الأميال عنك. هل سيبدو موقع النجم مختلفاً للراصديْن في هذين المكانين؟ هل سيبدي النجم اختلاف منظر؟ سيجيب مؤيدو النظام الأرضي بكلمة نعم، إذ إن النجم قد يُظهر اختلاف منظر من وجهة المبدأ، وذلك بسبب المسافة الكبيرة الفاصلة بين النقطتين المميزتين. لكنهم سيسرعون بالإشارة إلى أنه لا وجود إطلاقاً لاختلاف منظر مرصود للنجوم حين النظر إليها من هذين الموقعين، أو حتى من موقعين يبعد أحدهما عن الآخر مسافة أكبر. ومن الواضح أن الكرة السماوية بعيدة عنا إلى درجة أن اثنين من الراصدين الموجودين في نهايتين متقابلتين من الأرض ـ وهذا أوسع «خط قاعدي» baseline في كون أرضي المركز ـ لن يتمكنا قط من كشف اختلاف منظر نجم.

لنطرح الآن سؤال اختلاف المنظر على أرستارخوس، صاحب نظرية النظام الكوني الشمسي المركز. ففي عالمه هذا، ثمة قدر أعلى من التوقعات لرصد اختلاف منظر نجمي، ذلك أن الحركة البعيدة المدى للأرض حول الشمس توفر موقعيْ رصد مناسبيْن، تفصلهما مسافة أكبر بكثيرٍ من اتساع الأرض ذاتها. فعندما يشاهد فلكي النجوم من مثل هذا الخط القاعدي الواسع ـ الذي طوله هو قطر مدار الأرض ـ فقد يصبح قادراً على كشف تغير محسوس في موقع النجم. وفي الحقيقة، يجب على النجم خلال العام أن يبدو مترنحاً إلى الأمام وإلى الخلف، وربما نراه حتى يتحرك وفق منحنٍ إهليليجي صغير في القبة السماوية، وهذه الحركة ليست سوى انعكاس للحركة المدارية لأرضنا حول الشمس.

لكن أرصاد القدماء قبل ظهور المقاريب (التلسكوبات) telescopes، لم تظهر أي نجم يقوم بمثل هذه الحركة «الأرستارخوسية» في السماوات. فقد كانت النجوم تسير بحركة رتيبة صاعدة من الأفق الشرقي، ثم هابطة إلى الأفق الغربي، دون أن يقوم أي منها بحركة دائرية أو التفافية. ومرة أخرى، فقد كان هذا دليلاً ينفي إصرار أرستارخوس على أن الأرض كانت تدور

حول الشمس. ومن المؤسف جداً أن يكون السَّبْرُ الرئيسي للمسافات إلى النجوم كامناً في نفس هذا التذبذب في اختلاف المنظر، الذي يُفترض أن يكون أرستارخوس تنبأ به، ولكنه لم يعمّر ليشاهده. وفي أيامنا هذه، نعلم أنه لا يمكن أن يرى بالعين المجردة حتى أوضح اختلاف منظر نجمي. لكن لم يكن لأحد أن يعرف هذه الحقيقة آنذاك.

لا يحتوي السجل التاريخي الذي أكله العثّ أي شيء عن جواب أرستارخوس لناقديه. ولم يبق من أعماله المكتوبة سوى رسالة موجزة تتحدث عن حجمي الشمس والقمر والمسافتين اللتين تفصلهما عن الأرض، حتى أنها لا تورد ذكراً للعالم الشمسي المركز، مع أنها تحوي نتائج مترتبة على هذا النظام. وكل ما نعرفه هو أن من المحتمل أن يكون أرستارخوس قد نُبِذَ باعتباره شخصاً مهووساً، ومفكراً متطرفاً، أفكاره بعيدة جداً عن الاتجاه الفكري الذي يجب انتهاجه في زمانه. ومع ذلك، لنجرِ مناقشة نيابةً عن أرستارخوس، بغية إنصاف هذا المفكر المضطهد. الموضوع الرئيسي الذي سنتناوله هو اختلاف المنظر النجمي. وسنستنتج جواب أرستارخوس عن مشكلة اختلاف المنظر، الثبات للنجوم الذي لا يمكن تفسيره، أمام أرض متحركة، انطلاقاً من جملة وحيدة في بحث غير عادي أجراه واحد من معاصري أرستارخوس، هو أرخميدس.

ولد أرخميدس في سنة 280 تقريباً قبل الميلاد في سيراكوز Syracuse، أهم مدينة في صقلية. وكانت اهتماماته تشمل الرياضيات، والفيزياء، وعلم الفلك، والعلوم الهندسية. ومع أن أرخميدس كان يعد نفسه باحثاً نظرياً في المقام الأول، فقد تمكن من التوصل إلى مجموعة من الاختراعات، ومن ضمنها ترسانة من آلات الحرب المدمرة التي استعملها لحماية سيراكوز من الغزاة الرومانيين. وسنورد الآن وصفاً لما واجهته الجيوش المعادية عندما تعرضت لأسلحة أرخميدس المرعبة:

> حين هجمت الجحافل الرومانية، ووجهت بوابلٍ من القذائف والأحجار الضخمة التي أطلقتها منجنيقاتٌ عملاقة... وعند محاولة مشاة الرومان

البائسين حماية أنفسهم بواسطة الدروع، سُحقوا بصخور ضخمة وعارضات خشبية كبيرة، سقطت من رافعات كانت تخرج من فتحات داخل الحصون. والأكثر إثارة للرعب من كل هذا، كان الآلات الشبيهة بالمخالب التي حطمت الأسطول الروماني أثناء محاولته دخول الميناء، إذ كانت تهز السفن، بل كانت تقتلعها من الماء وتقذفها بعيداً.

وكما يقول بلوتارك Plutarch: «لقد سيطر الرعب على قلوب الرومان، وكانوا عندما يرون حبلاً صغيراً، أو قطعة صغيرة من الخشب خارجةً من جدار الحصن، يصرخون فوراً. وعندما كان أرخميدس على وشك إطلاق آلة معينة لتطير فوقهم، أداروا ظهورهم وولّوا هاربين». ولم يستطع الجنرال الروماني مارسيلوس Marcellus أن يفعل شيئاً سوى البقاء قابعاً في حصار طويل الأمد.

وفي الميدان غير العسكري، ابتكر أرخميدس المضخة المائية التي تحمل اسمه: وهي حلزون مجوف، مائل، يُدار يدوياً، مازال يستعمل حتى الآن في البلدان النامية لضخ الماء من قنوات الري. وقد أجرى أرخميدس أيضاً تجارب على العتلات، والبكرات، ونقاط الارتكاز. ويحكى أنه تبجح أمام هيرون Hieron ملك سيراكوز بقوله: «إذا سُمح لي بالوقوف حيث أشاء، فإنني سأحرك الأرض». ولإثبات ادعائه، ابتكر أرخميدس جهازاً مكّنه من أن يطلق وحده، دون مساعدة، سفينة محملة تماماً بالبضائع من حوض جاف. وفيما بعد أعلن هيرون أن «أرخميدس يجب أن يُصَدَّقَ في كل ما يقوله». هذا وإن أرخميدس قنع بالعودة إلى بحوثه النظرية ؛ وقد صُممت آلاته «لا لأنها أشياء تحظى بأهمية لديه، لكن لمجرد التسلية باستعمال العلوم الهندسية».

كان أرخميدس يقوم ببعض التصرفات الشاذة بطريقة لافتة للنظر. ففي كتاب Lives، يعرض بلوتارك كيف كان أرخميدس «ينسى تناول طعامه ويهمل نظافته الشخصية، إلى درجة أنه عندما كان يُدْفَع بالعنف من وقت لآخر للاستحمام، أو لدهن جسمه ببعض أنواع الزيوت، فقد كان يرسم أشكالاً

هندسية في رماد نار موقد الحمام، ويشكل مخططات من الزيت على جسده، وذلك بسبب وجوده في حالة من الاستغراق الكامل، أو بوصفٍ أصح، بسبب كونه مرتبطاً ارتباطاً مقدساً بحب العلم الذي كان يجلب له السعادة».

وأشهر حكاية تروى كثيراً عن أرخميدس، تتعلق بالتاج الملكي. فقد وقّع الملك هيرون عقداً مع صائغ مجوهرات محلي ليصمم له تاجاً جديداً من الذهب الصلب. وبعد أن اكتملت صناعة التاج، وبدا بمظهر رائع، ترامت إلى أسماع الملك إشاعة عن أن الصائغ لم يستعمل كامل كمية الذهب التي خصصت لصنع التاج، وأنه عوّض عن الكمية المنقوصة وزناً مساوياً من معدن أقل قيمة، مثل الفضة والنحاس. (في هذه الأيام، يقوم الصائغون بشكل روتيني بمزج الذهب بمعادن أخرى لإكسابه صلابة وقوة ؛ فالذهب من عيار 14 قيراطاً لا يحوي من الذهب الخالص سوى 58 بالمئة). عند ذلك طلب هيرون من أرخميدس تقدير «نقاوة» التاج الجديد.

الذهب مادة ثقيلة إلى حد ما: فوزن مكعب ذهبي طول ضلعه ثلاثة إنشات يعادل زهاء تسعة عشر باوناً. (عند الحديث عن الأعباء الثقيلة التي تفرضها المناصب العالية، تجدر الإشارة إلى أن جورج واشنطن رفض أن يعلق على صدره الأوسمة الملكية التي منحت له). لقد تصور أرخميدس خطة، تبدأ بأن يزن أولاً تاج هيرون، ثم يقيس حجمه. بعد ذلك يمكنه التحقق ما إذا كان وزن التاج هو وزن حجمه من الذهب. بيد أنه كان لهذا التاج، كغيره من التيجان، شكل غير منتظم. تُرى كيف أتيح لأرخميدس تحديد حجمه؟

طبقاً لما يرويه بلوتارك، ظل أرخميدس يفكر ملياً في هذه الأحجية الملكية المحيرة. وفي أحد الأيام خلال وجوده في الحمام العمومي، وكما هي العادة، فقد ارتفع الماء حين جلس أرخميدس في حوض الماء. ومع أن هذه ظاهرة مألوفة، فأنها اكتسبت ذلك اليوم أهمية خاصة. لقد دفع جسمه حجماً من الماء يعادل حجم الحيز الذي شغله من الماء. وعندئذٍ

ارتفع الماء ارتفاعاً يتناسب مع حجم جسمه. وهنا أدرك أرخميدس كيف يمكنه قياس حجم تاج هيرون: فقد ملأ الحوض إلى حافته العليا بالماء، وغمر التاج فيه، وملأ الماء الفائض في دورق قياس مدرج. ومن الواضح أن حجم التاج سيكون مساوياً لحجم الماء الفائض في الدورق. وبعد أن لمعت في ذهن أرخميدس هذه الفكرة، زُعِمَ بأنه قفز من حوض الماء الذي كان يستحم فيه، واتجه عارياً إلى بيته عبر شوارع سيراكوز، وصاح مردداً كلمته التي صارت مشهورة في تاريخ الكشف العلمي، وهي «Eureka!» أي «وجدتها!». لقد حدد حجم التاج، وتوصل إلى أن وزنه كان أخف فعلاً من وزن حجمه من الذهب. عندئذٍ بعث أرخميدس بتقريره إلى الملك هيرون، الذي ذكر فيه أنه أُدْخِلَ في التاج مادة الفضة. وكان من نتيجة ذلك إعدام الصائغ.

لقد أدى أرخميدس، هذا المخطِّطُ البارعُ، الذي عاش في حقبة قديمة من التاريخ، دوراً غير مباشر، لكنه حاسم، في موضوع اختلاف المنظر النجمي. فبعد أن قضى أرخميدس جزءاً من حياته في الإسكندرية، في نفس الوقت الذي كان فيه أرستارخوس موجوداً فيها، أصبح مطلعاً على النظام الثوري الشمسي المركز. ومثل أي شخص آخر في ذلك الزمن، لم يؤمن به. بيد أن ثمة حادثة جرت في وقت متأخر من حياة أرخميدس بيّنت له فائدة فكرة أرستارخوس الغريبة؛ وقد سجل أرخميدس هذه الفكرة. ولو لم يفعل ذلك، فربما لم يُتِحْ لنا البتة معرفة أي تفصيلات عن فرضية أرستارخوس الشمسية المركز.

ففي نحو سنة 216 قبل الميلاد، وذلك قبل وقت قصير من قتله على يد جندي روماني، أكمل أرخميدس، الذي كان في السبعينات من عمره، بحثاً رياضياً لخليفة الملك هيرون، جيلون الثاني Gelon II. إن هذا البحث المثير للفضول، الموجه إلى شخص لا يهمه هذا الأمر، والذي عنوانه «حساب حبات الرمال»، كان محاولة من أرخميدس لإثبات سهولة تعامله مع رياضيات الأعداد الكبيرة. ولإظهار قدرته على ذلك، شرع أرخميدس أولاً

في حساب عدد حبات الرمل اللازمة لملء الكون! ثم ذكر في بحثه هذا ما يلي: «سأحاول إثبات أن من بين الأعداد، التي توصلت إليها، أعداداً لا يتجاوز كبرها عدد حبات الرمل اللازمة لملء الأرض ـ بالطريقة التي شرحتها ـ فحسب، بل يتجاوز كبرها أيضاً عدد حبات الرمل اللازمة لملء الكون». يبدو هذا شيئاً مثيراً للإعجاب، حتى في أيامنا هذه. لكن ما هو الحجم الذي اعتمده أرخميدس للكون الذي سعى «لملئه»؟

ولإحداث أثر لا يُمحى في مليكه، اختار أرخميدس كوناً أكبر مما يقبل به النظام الأرضي المركز المقبول عموماً آنذاك، الحاوي على كرات سماوية ملتزةٍ بإحكام. وبدون إصدار حكم على الأفضلية النسبية لنظامي الكون المتعارضين، اختار نموذج أرستارخوس، الذي كان يعرف أنه ضخم جداً. وعن طريق أرخميدس، أتيح لنا تعرف أبعاد العالم الشمسي المركز الجديد كما سماه أرستارخوس، والذي ذكره أرخميدس في بحثه بعنوان «حساب حبات الرمل».

لنحدد أولاً الأساس الذي اعتمده أرستارخوس لتحديد حجم الكون، لأنه عالج هذا الموضوع بأسلوب غير مباشر وإشكالي إلى حد ما. وعموماً، كيف يمكن للمرء أن يحدد بدقة حجم جسم ما؟ تتمثل إحدى الطرائق للقيام بذلك في تحديد أبعاده مباشرة، كأن تقولَ إن عرض البيت ثلاثون قدماً. وثمة طريقة أخرى هي أن نقارن حجمه بحجم جسم آخر، أو، بعبارة أخرى، تحديد نسبة حجمي الجسمين، كأن نقول إن طول سوق مركزية يعادل ضعف طول ملعبٍ لكرة القدم، أو أن نقول إن النسبة بين طول السوق المركزية وطول ملعب كرة القدم تساوي 2. بيد أن ثمة طريقة ثالثة هي التعبير عن نسبة حجمي جسمين بدلالة نسبة حجمي جسمين آخرين، كأن نقول إن ارتفاع الشجرة بالنسبة إلى طول الرجل كطول الرجل بالنسبة إلى طول الطفل. وفي هذه الحالة، إذا كان طول الرجل ستة أقدام، وطول الطفل ثلاثة أقدام، فإن نسبة طوليهما هي 2؛ ولما كانت هذه هي نسبة طول

الشجرة إلى طول الرجل، فإن طول الشجرة اثنا عشر قدماً. إن آخر هذه الطرائق هي التي اختارها أرستارخوس لحساب حجم الكون. وسنورد فيما يلي، بصياغة حديثة، ما ادعى أرخميدس بأن أرستارخوس كتبه:

> النسبة بين المسافة إلى النجوم وقطر مدار الأرض هي نفس النسبة بين سطح كرة ومركزها.

وتعيدني عبارة أرستارخوس هذه إلى ذكريات تجعلني أفكر في المسائل الشائكة التي تطرح في فحوص الذكاء المدرسية. ولدى النظر في العبارة السابقة نرى أنها تحتوي نسبتين: أولاهما فيزيائية محضة. وهي النسبة بين المسافة إلى النجوم وقطر مدار الأرض ؛ أما النسبة الثانية فهي رياضية محضة، وهي بين سطح كرة ومركز هذه الكرة. (ربما كان أرستارخوس يشير إلى الكرة السماوية، ولكن أي كرة يمكن استعمالها). وقد ادعى أرستارخوس أن هاتين النسبتين متساويتان، ويمكننا تمثيلهما كما يلي:

$$\frac{\text{المسافة إلى النجوم}}{\text{قطر مدار الأرض}} = \frac{\text{سطح كرة}}{\text{مركز هذه الكرة}}$$

إذا حسبنا النسبة الثانية، وهي النسبة الرياضية، فإننا نكون قد عرفنا، آنيا، النسبة الأولى، وهي النسبة الفيزيائية. ومن الواضح أن أرستارخوس قدم هنا لأرخميدس طريقة لحساب حجم الكون الشمسي المركز «المسافة إلى النجوم» بدلالة قطر مدار الأرض. وتحديداً، ما هو عدد المرات التي يكبر بها الكون مدار الأرض؟ يمكن الجواب عن هذا السؤال بحساب النسبة الثانية. فهل نحن قادرون على ذلك؟

إن القارئ المثقف هندسياً لا بد أن يكون على علم بأن النسبة الثانية، بين سطح كرة ومركز الكرة هي سخيفة وضوحاً. بيد أن ثمة عبارة مشابهة غالباً ما كان يستعملها الفلكيون اليونانيون في تعبيرهم عن ضخامة السماوات.

(وفيما يتعلق بعبارة «سطح كرة»، فإننا سنعتمد تفسير أرستارخوس لها على أنها تعني قطر الكرة). إن مركز كرة هو نقطة، وهذا يعني هندسياً أنه لا يوجد لها حجم أبداً. وهكذا فإن قطر كرة أكبر من مركزها بعددٍ غير منته من المرات، لأن تقسيم أي عدد على الصفر يعطي اللانهاية[1]. وبعبارة أخرى، فإن النسبة الثانية تساوي اللانهاية. وهذا يعني حرفياً، أن دعوى أرستارخوس تقتضي أن تكون النجوم بعيدة بعداً لا نهائياً عنا. إن عالماً ليس له نهاية لم يكن ملائماً لأرخميدس، الذي ربما اتفق، في ذلك الموضوع، مع بطل الرواية السيء الطالع في القصيدة الفكاهية الخماسية الأبيات التي نظمها الفيزيائي جورج كاموف George Gamow:

كان هناك فتى من كلية ترينيتي Trinity

وعندما بدأ بحساب الجذر التربيعي للانهاية

أثار عدد الأرقام الناتجة عصبيته

عندها هجر الرياضيات وتحول إلى علم اللاهوت Divinity

وفي بحث حساب حبات الرمل، أراد أرخميدس القيام بحساب يدخل فيه الحجم المزعوم للكون. ولما لم يكن قادراً على التعامل مع كونٍ كبير كبراً لا نهائياً، فقد تلاعب إلى حد ما في افتراضاته. لذا اختار تفسيراً ابتعد فيه قليلاً عن حرفية عبارة أرستارخوس المبهمة التي تقارن سطح الكرة بمركزها. وكما يقول أرخميدس، فإن ما كان قصده أرستارخوس لا بد أنْ كان شيئاً شبيهاً بما يلي:

---

(1) إذا أردنا مزيداً من الدقة الرياضية، فإنه يوجد في الرياضيات تعريف لتقسيم عدد على صفر. ويجب القول هنا إن حاصل قسمة عدد (غير صفري) على عدد غير صفري س، يسعى إلى اللانهاية، عندما يسعى س إلى الصفر. (المعرِّب)

obeikandl.com

النسبة بين المسافة إلى النجوم وقطر مدار الأرض هي نفس النسبة بين قطر مدار الأرض وقطر الأرض.

ويمكن التعبير عن هذه العبارة بصيغة النسب على الوجه التالي:

$$\frac{\text{المسافة إلى النجوم}}{\text{قطر مدار الأرض}} = \frac{\text{قطر مدار الأرض}}{\text{قطر الأرض}}$$

نرى هنا أن النسبة الثانية لم تعد غير منتهية، وهي مقارنة مباشرة بين كميتين مقيستين: قطر مدار الأرض و قطر الأرض. وكان لهاتين الكميتين تقديران غير دقيقين (حددهما أرسطوطاليس، وآخرون غيره). وباستعمال افتراضات سخية التقديرات، فقد خمّن أرخميدس أن قطر مدار الأرض لا يتجاوز 10،000 مرة من قطر الأرض. (وفي الواقع، فما زال تقدير أرخميدس أقل بعامل قدره 2). وعندئذٍ تصبح العلاقة كما يلي:

$$\frac{\text{المسافة إلى النجوم}}{\text{10.000 مرة قطر الأرض}} = \frac{\text{10.000 مرة قطر الأرض}}{\text{قطر الأرض}}$$

إذن، وطبقاً لأرخميدس، تبعد النجوم الواقعة على الكرة السماوية عنا بمقدار 100 مليون مثل من قطر الأرض، وهذا يقزِّم من تقدير 10،000 مثل من قطر الأرض، الذي اقترحه دعاة النظام الأرضي المركز. (ومع ذلك فما زال أقل كثيراً من المسافة الحقيقية حتى لأقرب نجم، الذي يبعد عنا مسافة 3 بلايين مثل من قطر الأرض). بعد ذلك حول أرخميدس مسافته الكونية إلى مقياس بعدي يسمى ستاديا stadia، وهو مقياس أرضي استعمله القدماء يساوي تقريباً عُشْرَ ميل. ولإجراء هذا الحساب، فقد «تلاعب» أرخميدس مرة أخرى في فرضياته. وعلينا ألاّ ننسى أن أرخميدس كان يحاول إبهار الملك جيلون «بملء» أكبر كون ممكن، لذا قام بكل بساطة بتكبير الأعداد ليحصل على أكبر نتيجة ممكنة. فقد افترض أن قطر الأرض يعادل زهاء

مليون ستاديا، وسمح لنفسه بأن يعتبر الستاديا معادلاً لعشرة أمثال القيمة المقدرة له في ذلك الوقت. وبالنتيجة، استخلص أرخميدس أن نصف قطر عالَم أرستارخوس كان قرابة 100 تريليون ستاديا، وهذه المسافة قريبة من 10 تريليون ميل. وقد تطلب ملء هذا الكون 1،000 تريليون تريليون تريليون تريليون حبة رمل. وأنا أتصور الدهشة العارمة التي أصابت الملك جيلون حين سمع هذا العدد (وفي الرموز العلمية الحديثة، يمكن كتابة هذا العدد لحبات الرمل بالشكل 10^{63}، أي بالرقم 1 متبوعاً بثلاثة وستين صفراً).

مات أرخميدس بعد وقت قصير من إكمال بحثه حساب حبات الرمل، إذ قتله أحد الجنود حين فاجأ جيشُ الجنرال الروماني مارسيلوس الحراس السكارى، واجتاح سيراكوز. وكما يروي بلوتارك، فقد هجم الجندي على أرخميدس خلال رسمه أشكالاً هندسية في الوحل، وفقد الجندي صوابه عندما وبّخه الرجل العجوز بعنفٍ لمقاطعته إياه خلال الانهماك بعمله. وبعد مرور أكثر من قرن على ذلك، وتحديداً في سنة 75 قبل الميلاد، قام شيشرون Cicero بترميم قبر أرخميدس المهمل، بعد أن اكتشفه بواسطة الشكل الأسطوري المحفور على وجهه: وهو أسطوانة تحيط بكرة. أما الآن فإن القبر غير معروف.

وبقطع النظر عن الطريقة التي سلكها أرخميدس في تفسير الدعوى الأصلية لأرستارخوس المتعلقة بحجم الكون، فإن قصد أرستارخوس كان جلياً. فما سعى إليه هو دحض فكرة دعاة النظام الأرضي المركز عن الكون الملتز، الذي كانت كرته السماوية غير البعيدة جداً تحيط بالبشرية، وكأن هذه الكرة قشرة بيضة كونية. فالكرة السماوية في نظره كانت ضخمة جداً مقارنة باتساع مدار الأرض، وكانت النجوم بعيدة جداً. ونورد فيما يلي الأسلوب الذي نتصور أن أرستارخوس استعمله في الرد على منتقديه في موضوع اختلاف المنظر النجمي: لا تبدي النجوم تغيراً يمكن ملاحظته في نورها، ولا تبدي اختلاف منظر قابلاً للقياس، لأنها بعيدة جداً عنا.

وإذا كانت المسافة التي تفصلنا عن نجم أكبر من 4 ملايين من قطر الأرض، فإن اختلاف منظره لا يمكن كشفه بالعين المجردة. لقد كانت الكرة السماوية في عالم أرستارخوس بعيدة جداً عن تلك العتبة، لذا لم تتوفر للقدماء أي فرصة إطلاقاً ليشهدوا اختلاف المنظر النجمي. وعندما كان يدور الجدل بين دعاة النظامين الكونيين، لم يكن أرستارخوس يقف على أرض صلبة، لأن غياب اختلاف المنظر كان يضعف من حجته. وفي هذا الغياب، لا فرق في أن تكون الأرض متحركة وتكون النجوم بعيدة جداً، أو أن تكون الأرض مثبتة ومركزية وتكون النجوم قريبة منها نسبياً. ومن ثم فلا سبيل لتمييز اختلاف منظر غير قابل للكشف عن اختلاف منظر غير موجود أصلاً.

من المؤكد أن مؤيدي النظام الأرضي المركز رفضوا فكرة الفراغ الهائل الذي افترض أرستارخوس وجوده بين الكرة السماوية والعالم الداخلي المكوّن من الشمس والكواكب. فهم يرون عدم وجود فجوة ضخمة بين الكرات التي تقع عليها الأجرام السماوية ؛ فكل كرة تكون ملتزّة بجارتها وكأنها طبقات بصلة. تُرى، لماذا بَنَى الخالق كوناً يحفل بهذا القدر الكبير من الفضاء المهدور؟ هذا شيء غير معقول.

إن الكون الذي تقع الشمس في مركزه، كما أدركه أرستارخوس، لا يملك فرصة حقيقية لأن يكون مقبولاً في المدرسة الهلينية. ففي تلك الحقبة كانت أسس النموذج الأرضي المركز قد ترسخت بقوة، وكان هذا النموذج قادراً على أن يفسر تفسيراً مرضياً الحركات المرصودة للشمس والقمر والكواكب. ومع أنه أصبح معروفاً، في وقت متأخر، أن النموذج الأرضي المركز مرفوضاً تماماً، فليس من الإنصاف إصدار أحكام قاسية جداً على أنصاره القدامى. ومهما كانت معتقداتهم الدينية أو الفلسفية، فإن حججهم كانت تستند إلى أهم السمات المتأصلة في الإنسان، ألا وهي الفطرة السليمة common sense. إن تصديق الصورة الشمسية المركز للسماوات يعني، حتى في أيامنا هذه، مخالفة ما تستقبله حواس الإنسان، ذلك أن مفهوم أرض

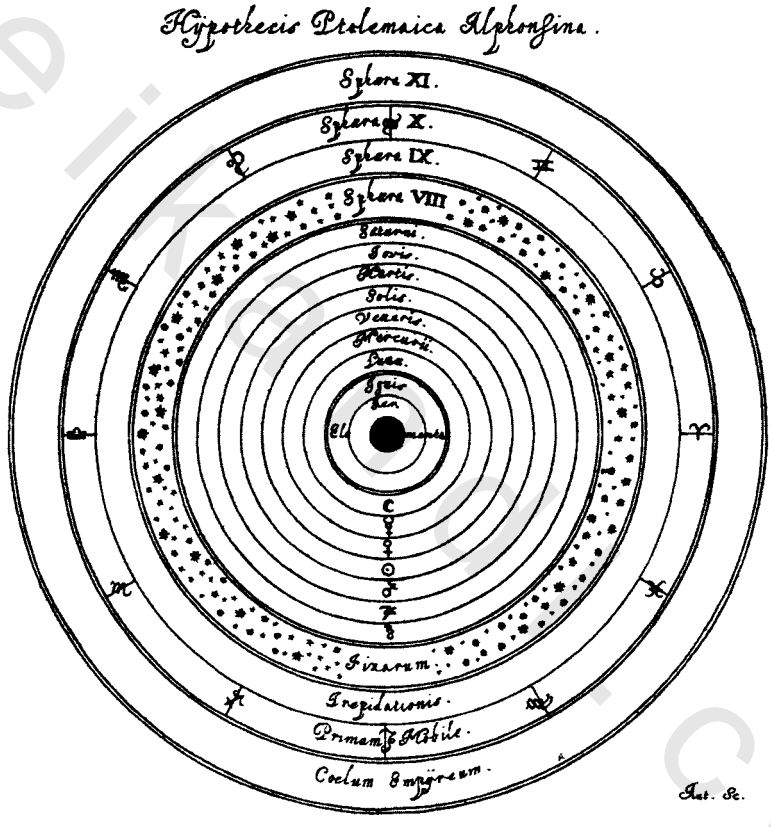
تدور حول محورها وتطوف حول الشمس هو، في الحقيقة، مفهوم مخالف للحدس. وبرغم العقود التي قضيتها كفلكي، فإنني مازلت أجد صعوبة في أن أستوعب جيداً أن الأرض تقطع زهاء نصف مليون ميل في الفضاء خلال ليلة أُمضيها نائماً في فراشي. وقبل القرن الثامن عشر، لم يكن ثمة وجود لبرهان حاسم على حركة الأرض في فلكها. هذا وكان النظام الشمسي المركز الذي اقترحه أرستارخوس نوعياً (غير كمي) إلى حد بعيد، إذ إن أسسه الرياضية لم تكن قد وضعت بعد. وهكذا، ففي حين يمكنه، من وجهة المبدأ، تفسير حركات القمر والكواكب، فلم يكن أحد في ذلك الوقت يعرف ذلك معرفة يقينية. وأهم من هذا كله هو أن النظام الشمسي المركز كان يفتقر إلى الإثباتات الرصدية غير الغامضة، مثل اختلاف المنظر النجمي.

كان يُنْظَرُ إلى أرستارخوس من قبل زملائه الفلاسفة أنه مفكر متطرف في أحسن الأحوال، أو أنه مهرطق في أسوأ الأحوال. وثمة مقالة واحدة، على الأقل، نشرت في حياته تتهمه بعدم التقوى. هذه المقالة التي كتبها الفيلسوف الرواقي كليانتس من أسُسْ Cleanthes of Assus، والتي تتهم أرستارخوس بأنه ارتكب جريمة بشعة، وُضع لها عنوان هو: ضد أرستارخوس. ويبدو أن النموذج الشمسي المركز لم يجذب إليه سوى مؤيد رئيسي واحد، هو الرياضي سيليكوس من سيليوكيا Selecus of Seliucia، الواقعة على نهر دجلة، وكان ذلك بعد انقضاء قرن كامل على تقديم النظرية الجديدة. لم يكن الوقت مناسباً بعد لتقديم مثل هذه الفكرة الثورية، ولم تكن فرصة أرستارخوس لعكس اتجاه زخم النظام الأرضي المركز أفضل من فرصة بعوضة لعكس اتجاه سير قاطرة للشحن.

ولو كان اختلاف المنظر النجمي قابلاً للرصد من قبل قدماء اليونان، لكان من الممكن كسب قضية العالَم الشمسي المركز في أيام أرستارخوس. لكن عقارب ساعة الكون استمرت في الدوران 1،800 سنة أخرى قبل أن

يبرز موضوع اختلاف المركز مرة أخرى في صراع متجدد بين النظامين الكونيين المتنافسين. ومع ذلك مرت 300 سنة أخرى قبل أن تتفجر، في نفس الوقت تقريباً، طاقات ثلاثة فلكيين تنافسوا فيما بينهم ليحددوا تماماً اختلاف المنظر الذي طال البحث عنه.

obeikandl.com



النظام الأرضي المركز للكون. من هيفيليوس، Selenographia 1674.

المصدر : مكتبة وولباخ، جامعة هارڤرد.